

326009

发射机的调幅设备

A. H. 爱蘭克利格 著
苏联 C. E. 格里克曼
彭 熙 荣 译

人民邮电出版社

發射机的調幅設備

苏联 A. И. 愛蘭克利格 C. E. 格里克曼著

彭熙榮 譯

人民邮电出版社

А. И. ЭИЛЕНКРИГ и С. Е. ГЛИКМАН
МОДУЛЯЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ПЕРЕДАТЧИКОВ
С АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ
ИЗДАТЕЛЬСТВО „СОВЕТСКОЕ РАДИО“
МОСКВА — 1954

內 容 提 要

本書系統地研究發射機中用的各種調幅設備的工作原理與計算，其中主要偏重於屏調幅、柵調幅、屏—隙柵調幅及抑制柵調幅的設計和計算方法。此外，也詳細地研究了調幅器末級和末級推動級的特點。最後並研討如何用負反饋來提高發射機的質量指標，以及消除寄生調幅的方法。

本書適合無線電廣播及無線電通信工程師、技術員閱讀，也可以作為大專學校無線電專業的教學參考書。

發 射 機 的 調 幅 設 備

著 者：蘇聯 А. И. 愛 蘭 克 利 格
С. Е. 格 里 克 曼
譯 者：彭 熙 榮
出版者：人 民 郵 電 出 版 社
北京東四區 6 條胡同 13 號
印刷者：北 京 市 印 刷 二 廠
發行者：新 華 書 店

書號：無121 1956年9月北京第一版第一次印刷 1--3, 600 冊
787×1092 $\frac{1}{27}$ 134 頁 印張 $9\frac{25}{27}$ 字數 194,000 字 定價(10) 1.40 元

★北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八號★

前 言

關於調幅原理和制造調幅設備的各種問題，在期刊文獻中曾發表過不少著作。但直到目前為止，還沒有一篇著作有系統地敘述有關設計及計算調幅發射機的調幅設備各種問題的基本知識。在教科書中，這方面的問題也闡述得不够。這使得設計或維護調幅設備的工程師、技術員以及大學的學生們在研究這方面的技術時，碰到一定的困難。

本書試圖來彌補上述缺陷。書中敘述了屏極調幅、柵極調幅、屏-帘柵調幅以及抑制柵調幅時，計算以及設計調幅器的基本知識，還敘述了利用負反饋以提高發射機質量指標的原理。這些計算方法，均有實例說明。

本書的廣大對象是無線電廣播及無線電通信工程師、技術員以及專科學校高年級的大學生。

本書一開始是研究大型無線電廣播電台廣泛採用的屏調幅發射機的調幅器，然後研究柵調幅、屏-帘柵調幅及抑制柵調幅等調幅器的特點。這樣敘述的次序，是因為在設計屏調幅的調幅器時，往往會碰到幾乎是全部的基本問題，而在設計其他任何調幅線路的調幅器時，通曉這些問題也是必不可少的。

在本書中詳盡地研究了調幅器末級及末級推動級的特點。重點不在前置放大級，因為它們在許多有關放大線路原理的教科書中已經講得相當完全了。

本書以相當多的篇幅來研究有關在調幅器及發射機中實現強烈負反饋的問題，因為這些問題在教科書籍里闡述得還不够。

本書最後一章專門研究發射機中產生寄生調幅的各種原因以及減少寄生調幅的方法。

列寧格勒電信工程學院無線電發送設備教研室的同事們：М. А. 蓬奇-布魯也維奇、П. И. 弗米捷夫、Г. А. 茲耶依脫良克、В. А. 哈茲克列維奇、Г. Н. 西爾金、Л. М. 舒爾以及 Г. С. 拉姆通讀了原稿並提出許多寶貴的批評意見。作者謹向他們表示謝意。

作者對本書的校閱者 Б. П. 捷列齊也夫教授所作的一系列珍貴的指示，表示特別的謝忱。

序

知識的新領域——無線電技術的基礎，是天才的無線電發明家亞歷山大·斯捷潘諾維奇·波波夫所奠定的。

A. C. 波波夫於 1895 年 5 月 7 日在俄國物理化學協會上，表演了他發明的接收機，在一八九六年三月更發出了世界上第一個無線電報，於是証明了無線電通信的實際可能性。但是只有在偉大的十月社會主義革命之後，無線電技術，特別是無線電發送設備方面的技術，才得到了充份和全面發展的可能性。從十月革命最初的日子起，無線電在我國就用來為人民服務。B. И. 列寧極其重視無線電事業，認為它是不受國境限制的通信工具，對於宣傳鼓動工作，它有無可限量的能力。

列寧在 1918 年 12 月簽署了成立無線電試驗室的指令，這個實驗室對蘇聯無線電技術的發展起了出色的推動作用。它的技術領導者是俄國學者和發明家米哈伊耳·亞歷山大諾維奇·蓬奇——布魯也維奇。實驗室的工作人員是傑出的專家 B. И. 伏羅格金，П. А. 阿斯特里亞科夫，B. B. 塔塔利諾夫，A. Ф. 紹林等人。

由於 M. A. 蓬奇——布魯也維奇發明了獨創的接收振盪管和功率振盪管，於是就有可能開始製造電子管無線電發射機和接收機，之後無線電話和無線電廣播才廣泛發展起來。1920 年在莫斯科用這些電子管建造了第一個無線電話發射機，功率約 2 千瓦，並與蘇聯遙遠的角落作了實驗性的通話。

B. И. 列寧在 1920 年 2 月 5 日致蓬奇——布魯也維奇的信中寫道：「趁此機會為您所做的無線電發明的巨大工作向您表示深切的謝意和贊助。您所創造的不用紙張和『沒有距離』的報紙將是一樁偉大的事業。我答應在這項工作以及類似的工作上給您以全面的盡

力的幫助》。

1920年3月17日，通過了一項由B. И. 列寧簽署批准的建造強力無線電話台的決議。

尼熱哥羅得城實驗室全體工作人員精神飽滿地為完成政府交給的任務而工作着。1921年8月21日莫斯科中央無線電話台就開放了。

當時，這個功率為12千瓦的無線電台，是世界上功率最大的電台。從那時起，在無線電廣播電台功率上，蘇聯始終保持着世界第一位。

1924年，以A. Л. 明茲為首的全體工作人員建設了一座新的以A. C. 波波夫命名的無線電廣播電台，並開始了播音。同年，在M. A. 蓬奇——布魯也維奇領導之下，為蘇聯一些城市生產了許多功率為1.2千瓦的調屏電路的無線電廣播電台。

1926年在A. M. 庫占謝夫的參與下，M. A. 蓬奇——布魯也維奇裝成的40千瓦無線電廣播發射機開始播音。這個發射機的功率以及其中所用電子管的功率，大大超過當時國外已有的電子管功率。

1928年，B. П. 捷列齊也夫裝成20千瓦柵調幅兩級發射機。

1929年5月在A. Л. 明茲設計和指導下建成的大功率無線電台，開始了經常性的工作。

M. B. 舒列金和M. A. 蓬奇——布魯也維奇關於調幅的理論，以及A. И. 柏爾格關於電子管發射器的原理和計算等一系列理論深湛的著作，奠定了無線電話和無線電廣播進一步發展的基礎。

戰前五年計劃的年代里，蘇聯無線電廣播事業就已達到前所未有的繁榮。在第一個五年計劃末期的1932年，建成了一個大功率無線電廣播電台了，設計者是A. Л. 明茲。這個發射機首次實現了末級用數個單元組成的想法，解決了用許多電子管在一共同負載上工

作的問題。这个無線电台按照 A. JI. 明茲提出的綫路首先在中間級应用了柵極調幅，此綫路获得了極广泛的应用。

無線电广播电台的数量和功率愈益上增，在無線电專家們的面前就提出了提高效率，愈益改进播音質量的問題。

从 1934—1935 年，开始在發射机末級应用推挽式屏極調幅，調幅特性几乎能保証是綫性的，它的非綫性失真小，效率高。A. И. 貝尔格對於过压状态下运用的屏調幅理論的發展，作了極其宝貴的貢獻。C. И. 叶夫蔣諾夫和 C. B. 伯尔松的著作，都具有重大意义。

第二个五年計劃期間以及衛國战争之后，建成了許多大功率無線电广播电台，它們都成功地利用了上述的調幅綫路。

無線电广播电台功率的不断增長，以及保証提高播音質量的必要性，要求它的主要部分——調幅器不断地更趋完善。

对無線电广播發射机的調幅器所提出的要求是很高的；因为整个發射机的質量指标，在頗大程度上取決於調幅器的質量指标。

無線电话發射机的調幅設備或調幅器，是一个低頻放大器，它的末級应保証供給对高頻部分进行調幅所需的功率。調幅的功率視發射机的功率以及調幅的方法而定，它可达到相当大的数值。

利用电子設備进行放大，是俄国学者 B. И. 科瓦列可夫首先實現的。还在 1910 年，B. И. 科瓦列可夫就把他在电气技术專科学学校物理實驗室中制成的第一只俄国的三極管用作放大。1915 年，B. И. 科瓦列可夫还在工程师-电气工作人員代表大会上表演了电话增音器的模型。

在二十年代初，M. A. 蓬奇——布魯也維奇証明了在綫性状态下，电子管与一个普通的交变电压或交流發电机相等，这在無線电

技術和放大技術的發展上，起了重大的作用，因為它使人們能夠應用基本的電氣技術方法，來分析電子管特別是放大器的綫路。

對於一般電子管綫路，特別是放大器綫路的分析和計算，A. И. 伯爾格創造了把電子管特性曲綫直綫化的方法，起了十分重大的作用，他推演了一套關於放大器和電子管振盪器的嚴密理論和計算法。

改用屏調幅時，在電聲指標和能量經濟指標的要求更高的情況下，調幅設備的功率應達數千瓦。

由於廣泛利用推挽綫路，又製造出了特殊結構的調幅變壓器，同時還由於許多蘇聯專家研究了關於強烈負反饋的理論及在放大器和調幅器中實際應用問題，製造能滿足現代要求的調幅設備，就成為可能了。

上述諸問題，在З. И. 莫傑爾，С. В. 伯爾松，Г. С. 崔金，А. М. 畢薩列夫斯基，А. И. 列比捷夫—卡爾馬諾夫及其他蘇聯學者和工程師的著作中，已有詳盡的闡述。

與此同時，蘇聯工程師們為提高調幅器以及整個無線電話台的效率還在繼續工作着。工程師 Н. Г. 克魯格洛夫在 1943 年發明的自動屏調幅方法，能在不用笨重而又繁雜的調幅器的情況下，保證得到和屏調幅具有同樣高的能量經濟指標，這就是創造性的解決這個問題的一個實例。

在歷史性的蘇聯共產黨十九次代表大會關於發展蘇聯國民經濟五年計劃的決議中，對於發展無線電通信及無線電廣播的最新器材極其重視。要實現這些任務，需要我們更加深入地研究一系列有關設計和計算調幅發射機的調幅設備的理論和技術問題。

目 錄

前 言 序

第一章 屏極調幅發射機的調幅器末級

1. 概述 (1)
2. 推挽式放大綫路的优点 (6)
3. 調幅器末級电子管工作状态的計算 (9)
4. 調幅器末級工作状态的計算举例 (15)
5. 調幅器的动态工作状态 (23)
6. 屏—柵調幅 (25)
7. 末級的頻率特性 (29)
8. 非直綫性失真 (47)

第二章 調幅器的末級推动級

1. 对末級推动級的基本要求 (57)
2. 变压器交連的末級推动級 (60)
3. 变压器交連的末級推动級的頻率特性 (70)
4. 变压器交連的末級推动級的計算 (73)
5. 按陰極輸出綫路接成的末級推动級 (79)
6. 陰極輸出式的末級推动級的頻率特性 (87)
7. 陰極輸出的末級推动級的計算 (91)

第三章 前置放大級

1. 电阻耦合放大級和扼流圈耦合放大級的頻率特性 (95)
2. 推挽式前置放大級 (107)
3. 計算举例 (109)

第四章 幅極調幅發射機的調幅設備

- 借变更控制柵偏压进行調幅的特点 (115)

目 录

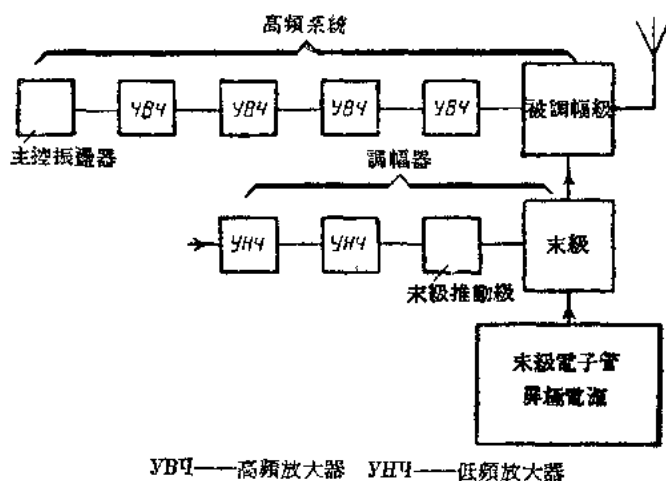
2. 栅偏压調幅的調幅器綫路	(117)
3. 調幅器末級的計算	(120)
4. 調幅器末級計算举例	(124)
第五章 多柵电子管調幅設备	
1. 概述	(127)
2. 屏—帘柵調幅	(129)
3. 变更抑制柵电压的調幅	(134)
第六章 負反饋的应用	
1. 基本关系式 电压負反饋	(147)
2. 电流負反饋	(155)
3. 並接的負反饋綫路	(157)
4. 反饋放大器的穩定度	(159)
5. 保証反饋裝置工作穩定的方法	(173)
6. 低音频限幅器	(175)
7. 高音频限幅器	(188)
8. 放大級的通頻帶对反饋环路特性曲綫的影响	(199)
第七章 具有負反饋的發射机綫路的構成	
1. 調幅器反饋电路的構成	(203)
2. 多路反饋	(209)
3. 已調幅波放大級的頻率特性曲綫	(214)
4. 檢波器	(218)
5. 包絡綫負反饋	(220)
6. 反饋电路計算举例	(225)
第八章 發射机的寄生調幅及其消滅方法	
1. 电子管灯絲用交流供电所引起的寄生調幅	(235)
2. 消滅寄生調幅的方法	(241)
参考文献	(258)

第一章 屏極調幅發射机的調幅器

末級

1. 概述

現今的強功率無線電廣播發射机的末級通常接成屏極調幅綫路。高頻被調級的电子管在过压状态下工作，並应用推挽式調幅器（其末級电子管在 AB 数的方式下工作）的屏極調幅的理論，是由院士 A. H. 別尔格，以及 C. B. 別尔松和 C. H. 叶夫佳諾夫研究出



YB4——高頻放大器 YH4——低頻放大器

圖 I. 1

来的。这种調幅有着許多优点：各高頻級的效率高；电子管的額定功率能充分利用；調幅特性曲綫几乎成一直綫；电子管灯絲及栅电路电源电压的脉动对它的影响小。这些优点使屏調幅得到了公認。

屏極調幅綫路的显明缺点是調幅器所需的功率很大。但它与其

他調幅綫路（控制柵、帘柵、抑制柵上的調幅）有所不同。屏極調幅的綫路里，調幅器輸出的功率是用來增加發射機已調幅波的功率的。

圖 I. 1 是屏調幅發射機的方框綫路圖。由於是在高頻末級進行調幅，故所有高頻前級均能運用於能量合算，工作穩定的過壓狀態，於是各前級的屏極迴路大為簡化。在這種情況下，調幅器實為一多級的低頻放大器，它的末級與高頻被調末級借調幅變壓器之助，互相交連。

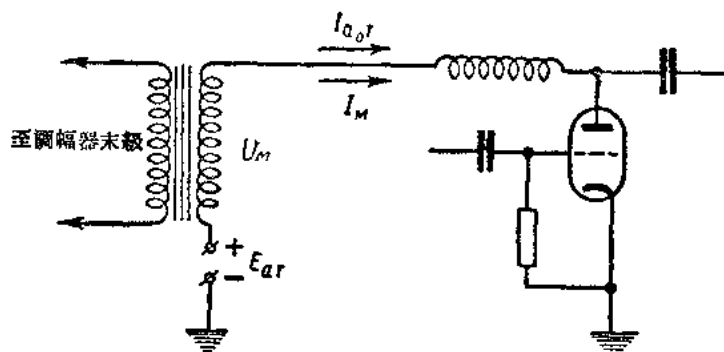


圖 I. 2

調幅器輸出的調幅電壓 U_M ，與屏極電源電壓相串聯，再接到高頻末級各電子管的屏極上（圖 I. 2）。此時，在這些電子管的屏電路里，除了屏流的直流成分 I_{aT} （決定於載波狀態的屏壓 E_{aT} ）之外，同時還有音頻電流 I_M 流過。因此可以這樣認為：在進行調幅的時候，被調電子管的屏極是由兩個串聯的電源取得能量的，即屏極電源整流器和調幅器。

調幅電壓 U_M 的幅度以及調幅器負載電流 I_M 的幅度，均視調幅度 m 的大小而定。如將調幅特性曲綫看成直綫，則可寫成

$$U_M = mE_{aT} \quad (1.1)$$

$$I_M = mI_{a0T} \quad (1.2)$$

$m=1$ 時，各被調電子管屏壓瞬時值將由零變到 $2E_{aT}$ ，屏流也由零變到 $2I_{a0T}$ 。

各被調電子管的屏電路給予調幅器的負載電阻為

$$R_{\Pi} = \frac{U_M}{I_M} = \frac{mE_{aT}}{mI_{a0T}} = \text{常數}$$

因此，實行屏調幅時，調幅器的負載電阻是常數。

發射機在短波及中波波段工作時，調幅器的負載電阻實際上可以認為是不變的純電阻。發射機在長波波段工作且調幅頻率甚高時，此電阻就變為阻抗〔參考文獻 1.4〕，這是大家都知道的。

調幅器輸出的功率，可用下式表示

$$P_M = \frac{I_M U_M}{2}$$

將 (1.1) 和 (1.2) 代入此式，得

$$P_M = \frac{m^2}{2} E_{aT} I_{a0T} \quad (1.3)$$

乘積 $E_{aT} I_{a0T}$ 是被調級各電子管在載波狀態下（沒有調幅信號送入時——譯註）消耗的功率。

$$E_{aT} I_{a0T} = P_{0T} = \frac{P_T}{\eta_T}$$

式中： P_T ——被調級在載波狀態下輸出的功率；

η_T ——被調級的屏路效率。

在確定調幅器末級所應輸出的功率時，應該考慮到調幅變壓器的損耗。調幅變壓器的效率視調幅器功率的大小約為 0.90—0.98（後一值屬於大功率的變壓器）。此時調幅器的功率

$$P_M = \frac{m^2}{2} \frac{P_T}{\eta_T \eta_{TP}} \quad (1.4)$$

如果 $\eta_T = 0.75$, $\eta_{TP} = 0.95$ 及 $m = 1$, 則

$$P_M \approx 0.7 P_T.$$

从后一式知, 屏調幅时, 調幅器的功率与載波状态下高频振盪器的功率差不多。由於調幅器末級各电子管功率的利用率比高频振盪器低, 同时又为了达到划一的目的, 故通常調幅器末級与振盪器末級都採用同型号的电子管。

圖 1.3 和 1.4 是屏極調幅的綫路圖。第一个綫路是功率不大的

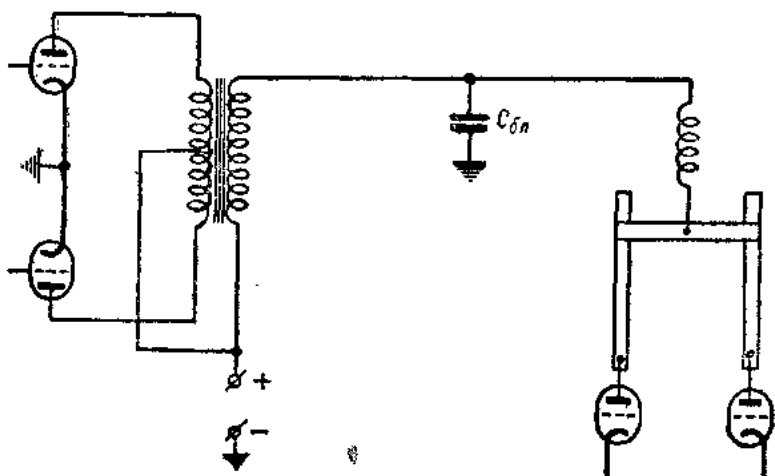


圖 1.3

發射機所採用的。在这种綫路中, 被調电子管屏流直流成分 $I_{a_{0T}}$ 流經調幅變壓器的次級綫卷, 会使變壓器的鉄心直流磁化。为了使變壓器鉄心免被直流磁化, 圖 1.4 中加接了調幅扼流圈 $L_{\Delta P}$ 和隔直流电容器 C_p 兩項元件, 这一电路应用極為广泛。

屏極調幅时, 調幅器末級应在失真及电源功率消耗均为最小的

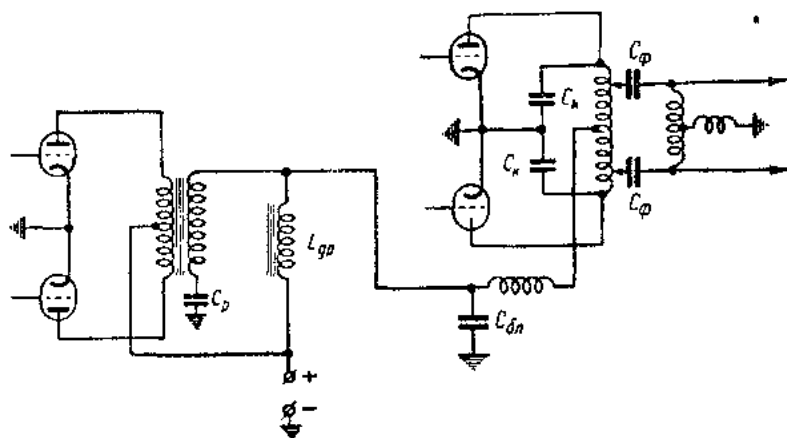


圖 I. 4

条件下满足 (I. 4) 式所示的功率值。满足这些要求主要是靠調幅器的綫路接得适当，以及它的末級各电子管的工作状态适当。

屏極調幅时，为要在高效率条件下获得所需的功率，通常要把調幅器末級电子管用到屏流截止的工作状态下，且要尽量利用屏-栅特性的右侧部分 (AB_2 类)，其特点是：当無信号时，起始工作状态所消耗的功率極小。

大功率的無線电广播發射机的調幅器末級尤宜採用上述的工作方式，因为广播發射的特点是仅仅在發射的一小部分時間內有最大或近於最大的电平，而在大部分广播發射的時間內，电平数值远远小於最大值。除此之外，广播發射，特别是在語言节目中，总有着時間或長或短的停頓。

因此，將調幅器末級应用到屏流截止的工作状态下，就能使电能的消耗按照傳輸的动态电平自动調整。也即保証使整个广播發射机效率高。

如所週知，屏路中沒有調諧迴路时，只有在推挽式放大的綫路

中电子管才能採用屏流截止的工作方式，因為此時每個电子管屏流的脈沖里，除基波之外，還有一系列為基波倍數的頻率成分。因此屏調幅發射機的調幅器末級，通常只接成推挽式綫路。

2. 推挽式放大綫路的優點

圖 1.5 是變壓器耦合的推挽式放大級的綫路圖。

如果在兩电子管的柵極上分別接以兩個大小相等而相位相反的正弦電壓，它的頻率為 $f = \frac{\omega}{2\pi}$ ，則兩屏流的瞬時值可用下列諧波級數來表示

$$\begin{aligned} i_a' &= I_{a_0}' + I_{a_1}' \sin(\omega t + \psi_1) + I_{a_2}' \sin(2\omega t + \psi_2) \\ &\quad + I_{a_3}' \sin(3\omega t + \psi_3) + I_{a_4}' \sin(4\omega t + \psi_4) + \dots \\ i_a'' &= I_{a_0}'' - I_{a_1}'' \sin(\omega t + \psi_1) + I_{a_2}'' \sin(2\omega t + \psi_2) \\ &\quad - I_{a_3}'' \sin(3\omega t + \psi_3) + I_{a_4}'' \sin(4\omega t + \psi_4) - \dots \end{aligned}$$

式中 I_{a_0}' 和 I_{a_0}'' ——綫路每個臂上电子管的屏流直流成分，

$I_{a_1}', I_{a_2}', I_{a_3}', I_{a_4}'$ ——屏流中各相應諧波的幅度。

推挽綫路輸出變壓器次級綫卷上電壓的瞬時值，是與兩半個初級綫卷所產生的磁動勢之差成比例。

$$u_2 = A_1(i_a' w_1' - i_a'' w_1''),$$

式中 A_1 ——比例常數，

w_1' 與 w_1'' ——每半個初級綫卷的匝數。

變壓器對稱時 ($w_1' = w_1''$)，此電壓與兩電流的瞬時值的差成比例

$$u_2 = A_2(i_a' - i_a'').$$

如果認為兩电子管的特性是相同的，則 $I_{a_1}' = I_{a_1}'' = I_{a_1}$ ， $I_{a_2}' = I_{a_2}'' = I_{a_2}$ ，……

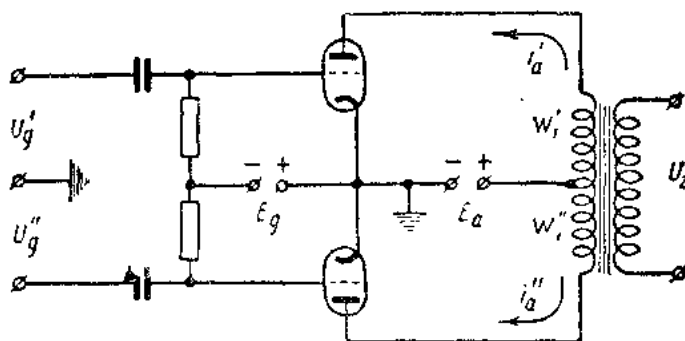


圖 I. 5

把 i_a' 和 i_a'' 的值代入 u_2 的式中，並為簡化起見，各成分的初相角略去不計，得

$$u_2 = A_2(2I_{a1}\sin\omega t + 2I_{a3}\sin 3\omega t + 2I_{a5}\sin 5\omega t + \dots)$$

由此可見，次級繞卷上的電壓和兩屏流的基波 ($2I_{a1}\sin\omega t$) 及各奇次諧波——3 次，5 次等的振幅之和成正比。流經變壓器初級繞卷的屏流的偶次諧波不在它的次級繞卷上感應電壓，因為它們的作用相消。

以數個頻率的正弦波電壓所組成的複合波電壓來激勵本級時，除了產生諧波之外，還產生組合頻率。可以證明，當變壓器耦合的推挽級完全對稱時，其輸出端上就沒有偶次諧波出現，也沒有偶次組合頻率。

推挽變壓器耦合綫路極可貴的特性，是它讓偶次諧波及偶次級數的組合頻率互相抵消，保證電子管輸出的有效功率大大增加。這是因為在推挽綫路中充分利用電子管時（用到特性曲綫的下段彎曲部分或在有柵流的情況下工作），產生的非綫性失真比較小。此時在放大級的輸出處，實際上要考慮的只是奇次諧波及其組合頻率。